



Реконструкция частиц в мюонной системе установки SPD

Аспирант группы А25-101: Осетров Александр Олегович

Научный руководитель: к.ф.-м.н. Солдатов Евгений Юрьевич

Научный консультант: к.ф.-м.н. Верхеев Александр Юрьевич

Национальный исследовательский ядерный
университет «МИФИ», г. Москва, 2026

Актуальность работы

Актуальность настоящего исследования обусловлена следующими ключевыми факторами:

- Отсутствие готовых решений: Для проектируемой мюонной системы SPD в настоящее время не существует готовых алгоритмов обработки данных, реконструкции треков и идентификации мюонов, валидированных в условиях, адекватных реальному эксперименту.
- Расширение функциональности системы: Помимо основной задачи идентификации мюонов, рассматривается возможность использования мюонной системы в качестве грубого адронного калориметра, в том числе для регистрации нейтронов.
- Требования к производительности: Высокий ожидаемый поток данных в эксперименте SPD предъявляет жёсткие требования к вычислительной эффективности алгоритмов реконструкции.

Цель и задачи работы

Комплексное моделирование мюонной системы детектора SPD с использованием программной среды SPDGeoModel и последующая разработка алгоритмов программного обеспечения для решения ключевых задач обработки данных этой системы.

В задачи работы входит:

- Моделирование геометрии мюонной системы SPD в среде SPDGeoModel.
- Моделирование прохождения частиц через детектор и изучение его отклика.
- Разработка и тестирование алгоритмов реконструкции треков мюонов.
- Разработка методов идентификации мюонов.
- Оценка эффективности реконструкции, точности измерений и способности подавления фона на основе анализа результатов моделирования.
- Исследование возможности применения системы в целях калориметрии и регистрации нейтронов и разработка соответствующего инструментария.

Эксперимент SPD

Цель эксперимента - изучение спиновой структуры протона и дейтрона и других спиновых явлений в столкновениях поляризованных p-p, d-d и p-d пучков с $\sqrt{s} = 27$ ГэВ и светимостью порядка 10^{32} см $^{-2}$ с $^{-1}$.

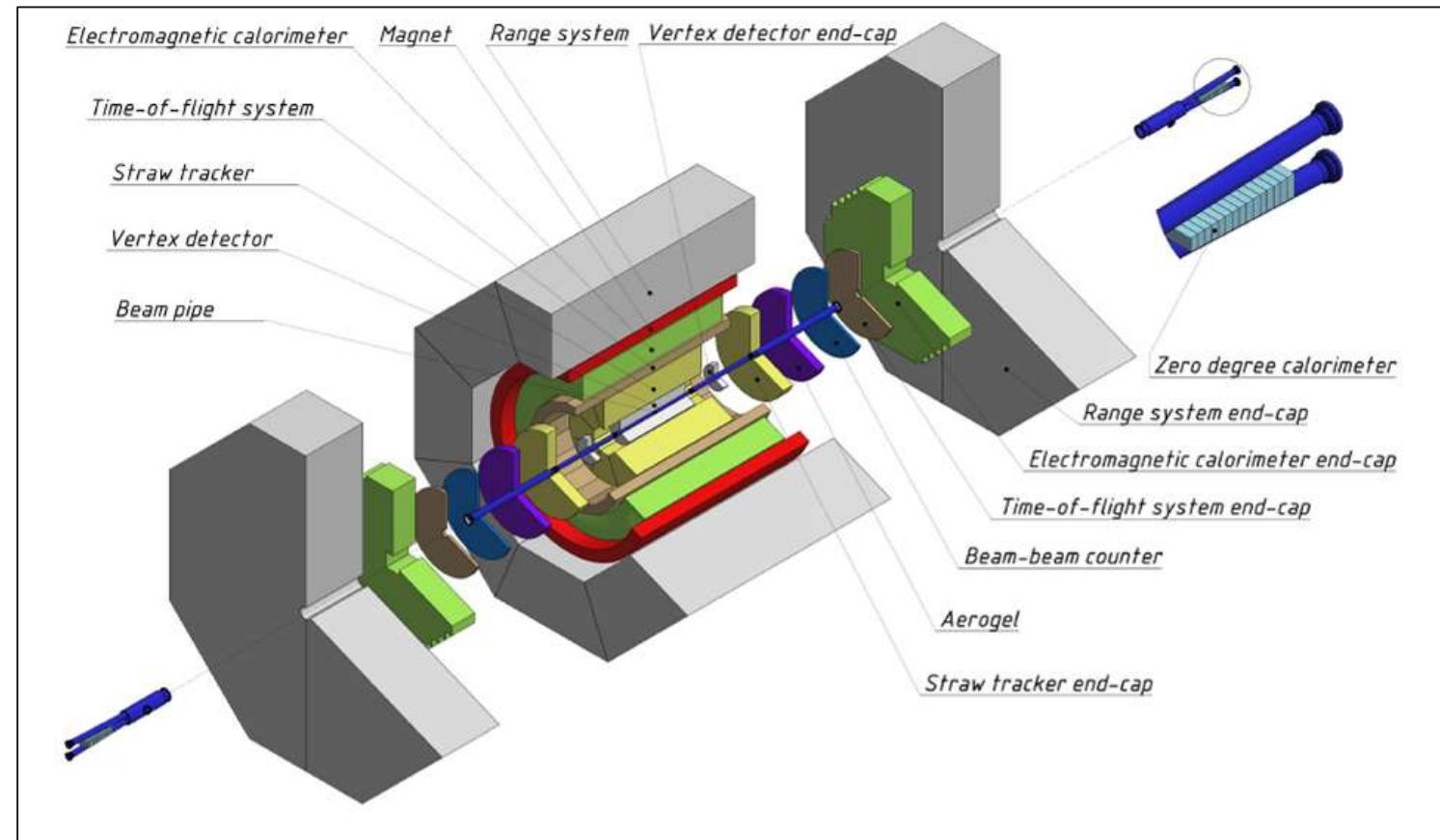
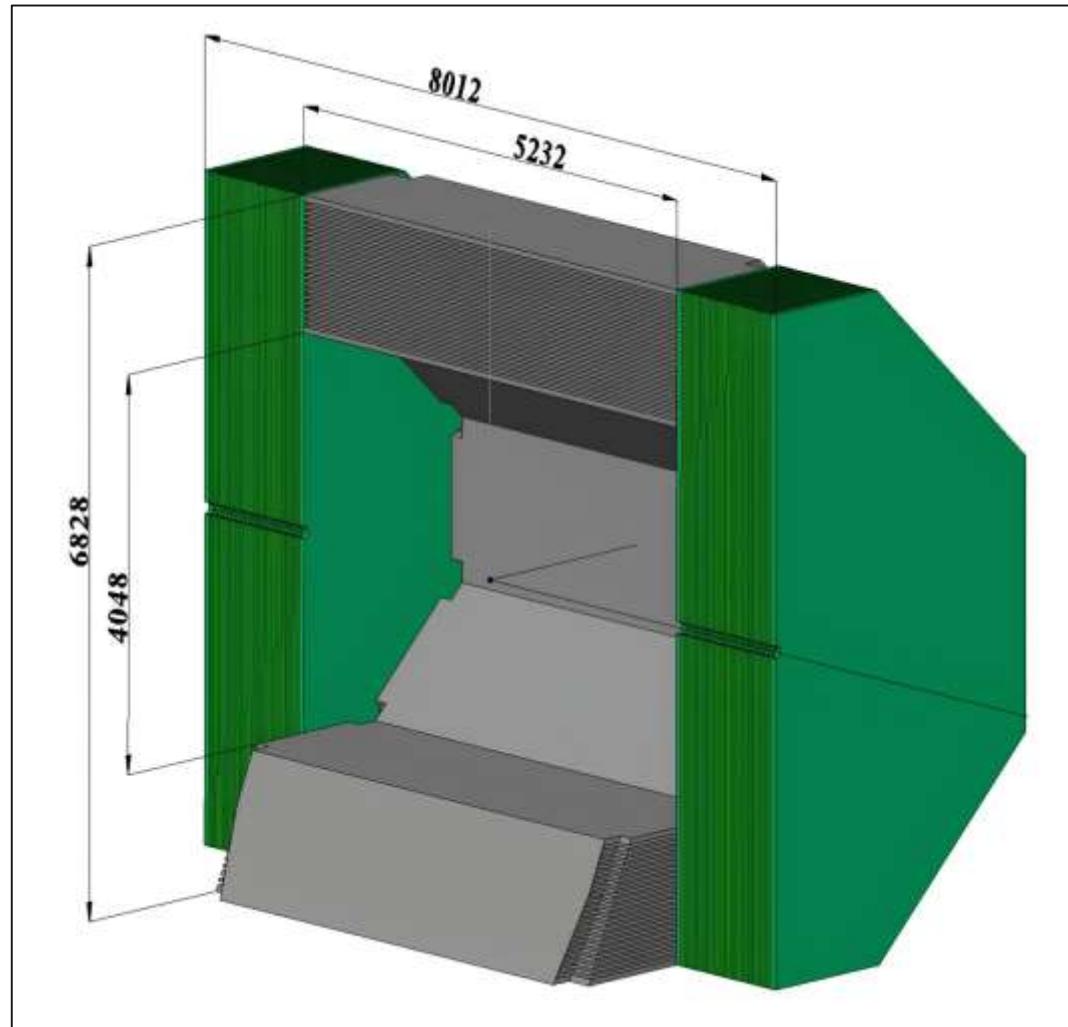


Рис. 1 Общая схема установки SPD

Мюонная система



- Идентификации мюонов в присутствии значительного адронного фона и оценки энергии адронов (грубая адронная калориметрия).
- Состоит из восьмимодульного барреля и двух торцевых дисков.
- В межслоевые зазоры помещаются Mini Drift Tubes (MDT) детекторы и считающая электроника.

Рис. 2 Схематичный вид мюонной системы

MDT детектор

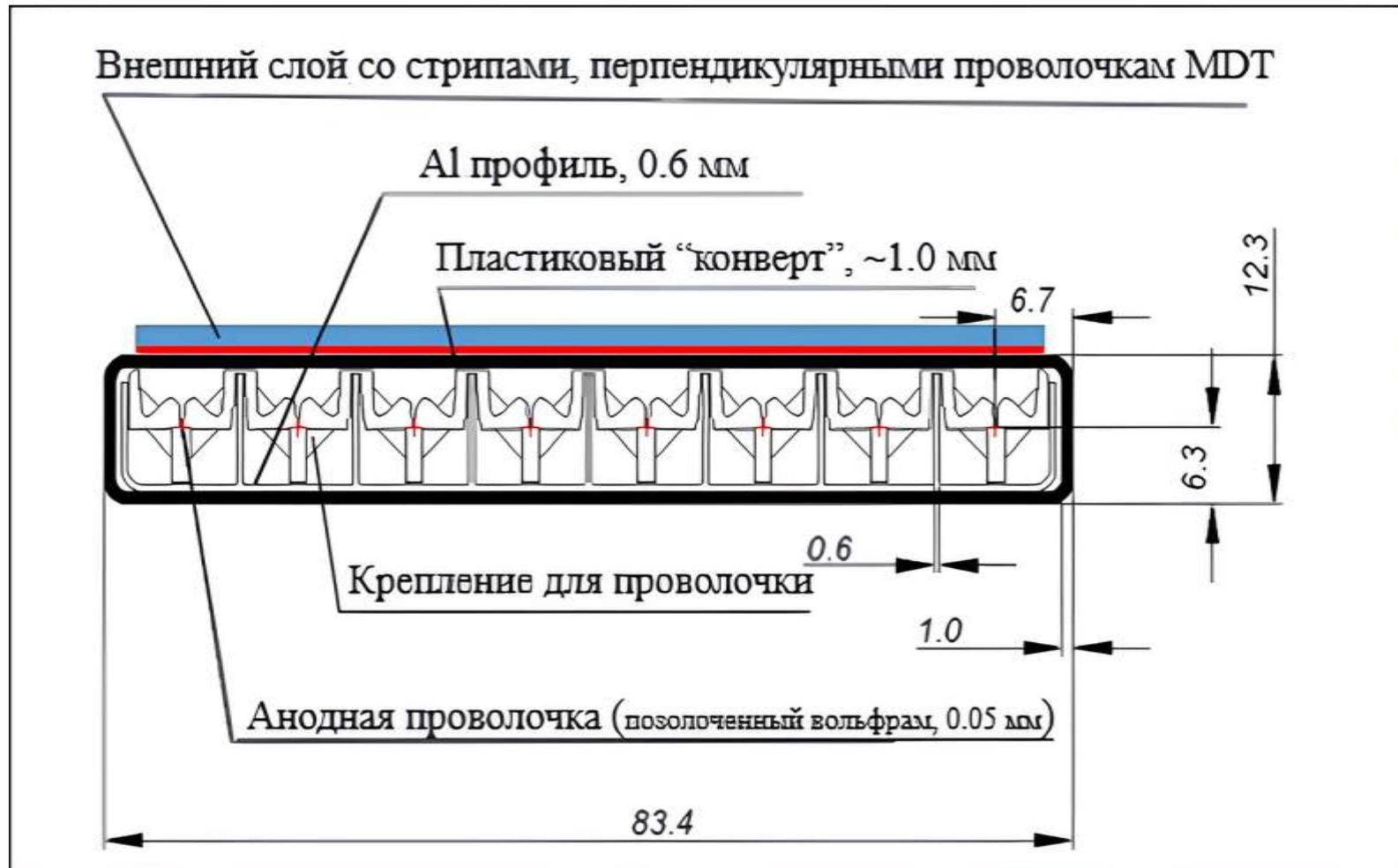


Рис. 3 Поперечное сечение детектора МДТ

- Состоит из металлического катода (алюминиевый гребенчатый профиль из 8 ячеек), анодных проволочек и пластиковой оболочки (норил) для газонепроницаемости.
- Перпендикулярная стриповая плоскость вместе с системой анодных проволочек дают две координаты прохождения частицы.

Геометрическая модель барреля RS SPD

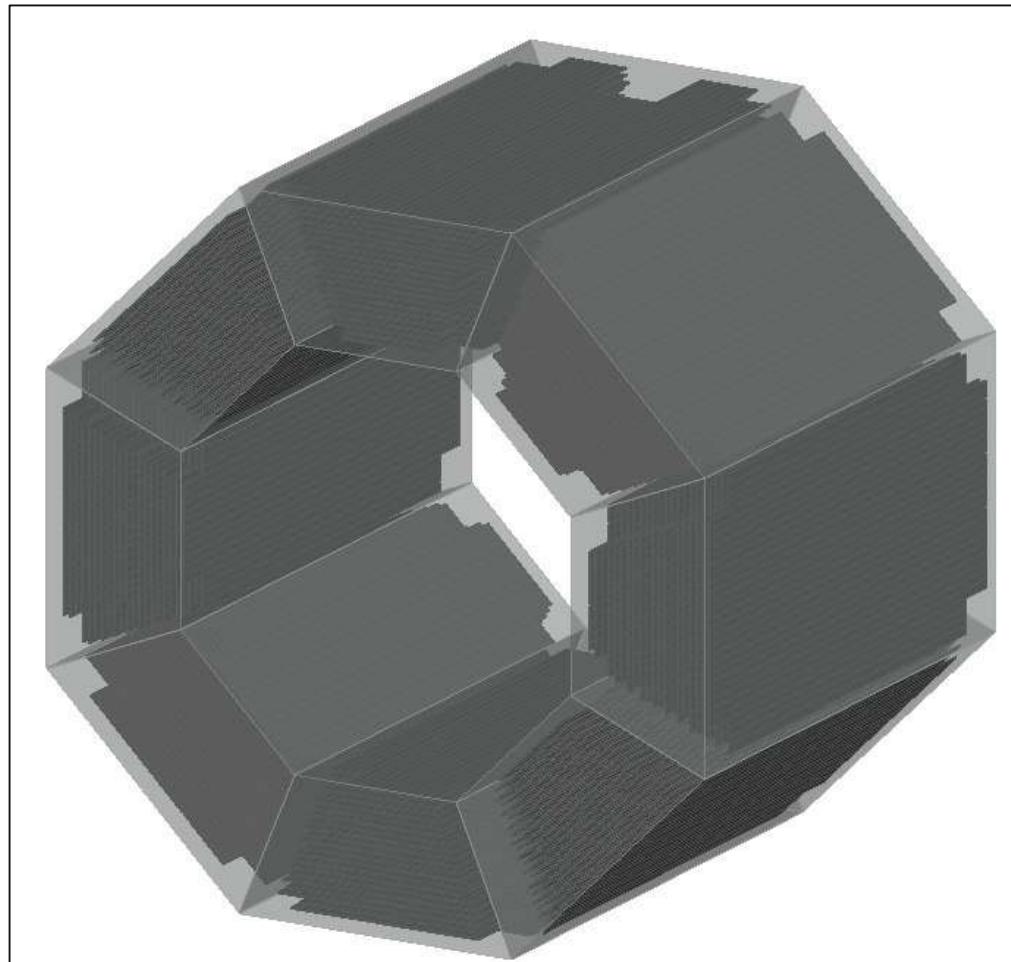


Рис. 4 Геометрическая модель барреля мюонной системы SPD

- Envelope (оболочка верхнего уровня) представляет собой призму из воздуха с основанием в виде правильного восьмиугольника.
- Баррель секционирован на восемь равных трапецидальных железных модулей.
- Внутри каждого железного модуля расположены зазоры, заполненные воздухом, которые моделируют детекторные слои.
- В каждом детекторном слое смоделированы дрейфовые трубы (MDT), выполняющие роль основного трекового детектора мюонной системы

Заключение

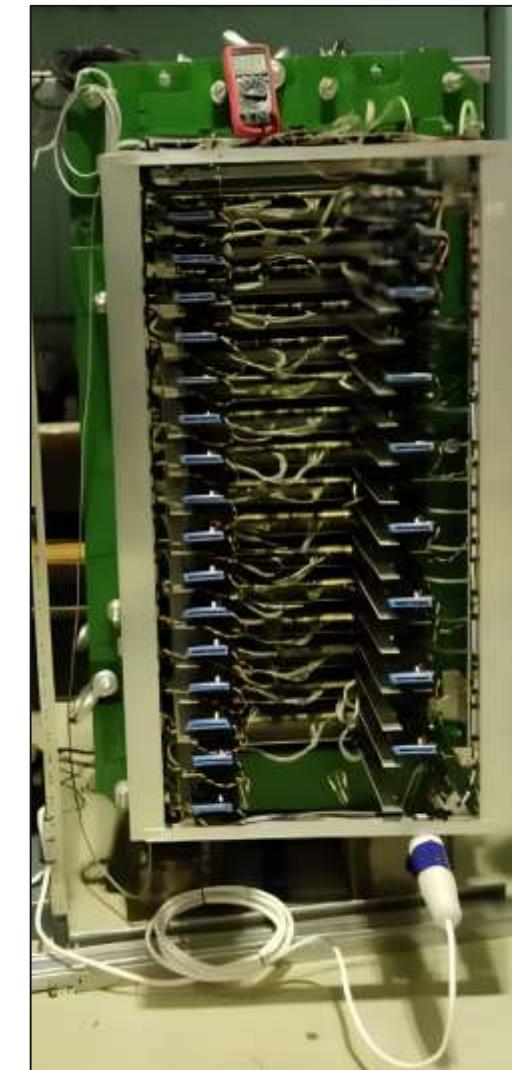
Реализована геометрическая модель баррельной части мюонной системы SPD в специализированной среде SPDGeoModel. Данная модель адекватно воспроизводит иерархическую структуру системы, включая железные поглотители и активные детекторные элементы на основе мини-дрейфовых трубок (MDT).

План дальнейшей работы

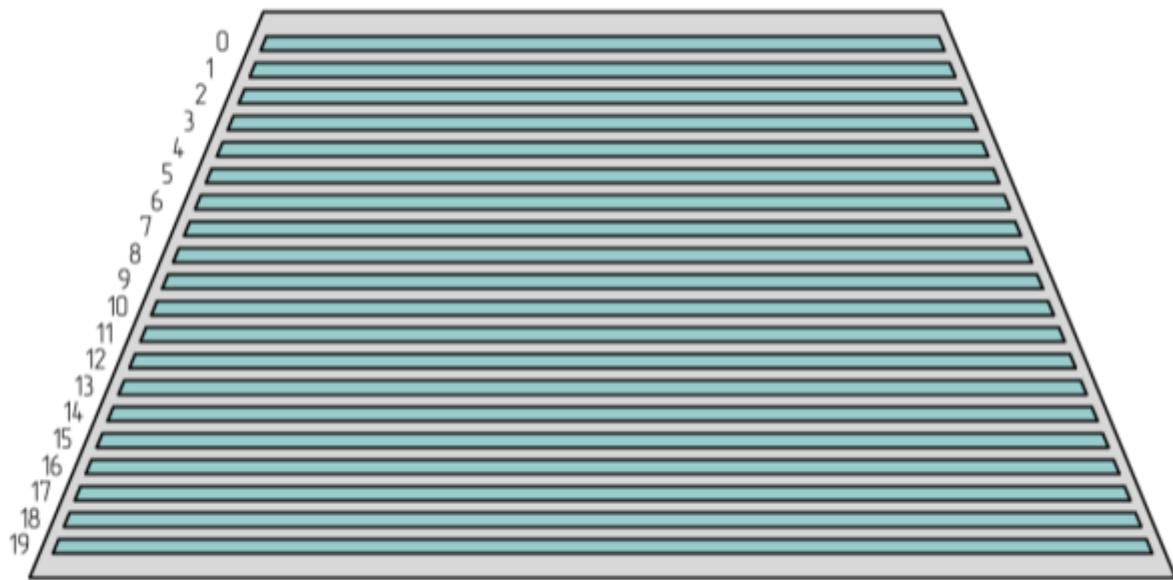
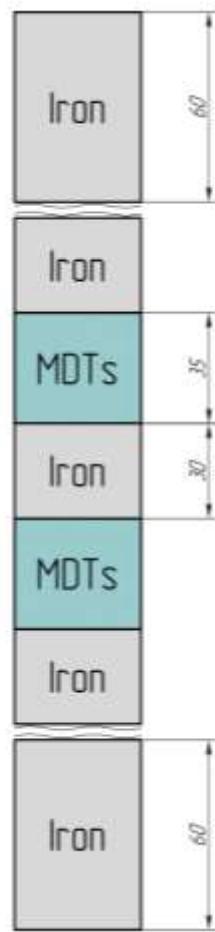
1. Разработка геометрической модели торцевых частей (эндкапов) мюонной системы для обеспечения полного углового покрытия.
2. Формализация и реализация программного представления сигналов срабатывания детектора (хитов) мюонной системы в виде специализированного класса данных.
3. Проведение полномасштабного моделирования прохождения частиц и генерации фоновых процессов в созданной геометрии с целью получения репрезентативных смоделированных данных.

4. Разработка и адаптация алгоритмов кластеризации хитов (на основе интегрированной в программный пакет `spdroot` реализации алгоритма DBSCAN) для сред обработки данных эксперимента.
5. Создание и оптимизация алгоритмов идентификации мюонов в условиях сильного адронного фона с применением современных методов, включая машинное обучение и классические трековые алгоритмы (например, фильтр Калмана).
6. Исследование возможности регистрации нейтронов мюонной системой и разработка соответствующих методов анализа.
7. Оценка потенциала использования системы в качестве грубого адронного калориметра и создание прототипов алгоритмов для данной цели.
8. Калибровка и валидация разработанных алгоритмов на данных, полученных с реального прототипа мюонной системы при облучении космическими лучами.

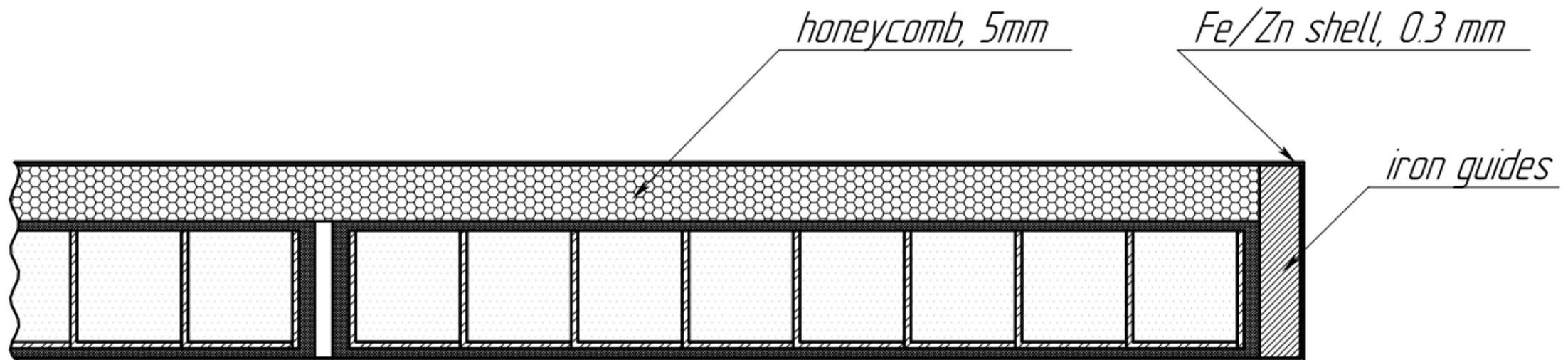
Дополнительные слайды



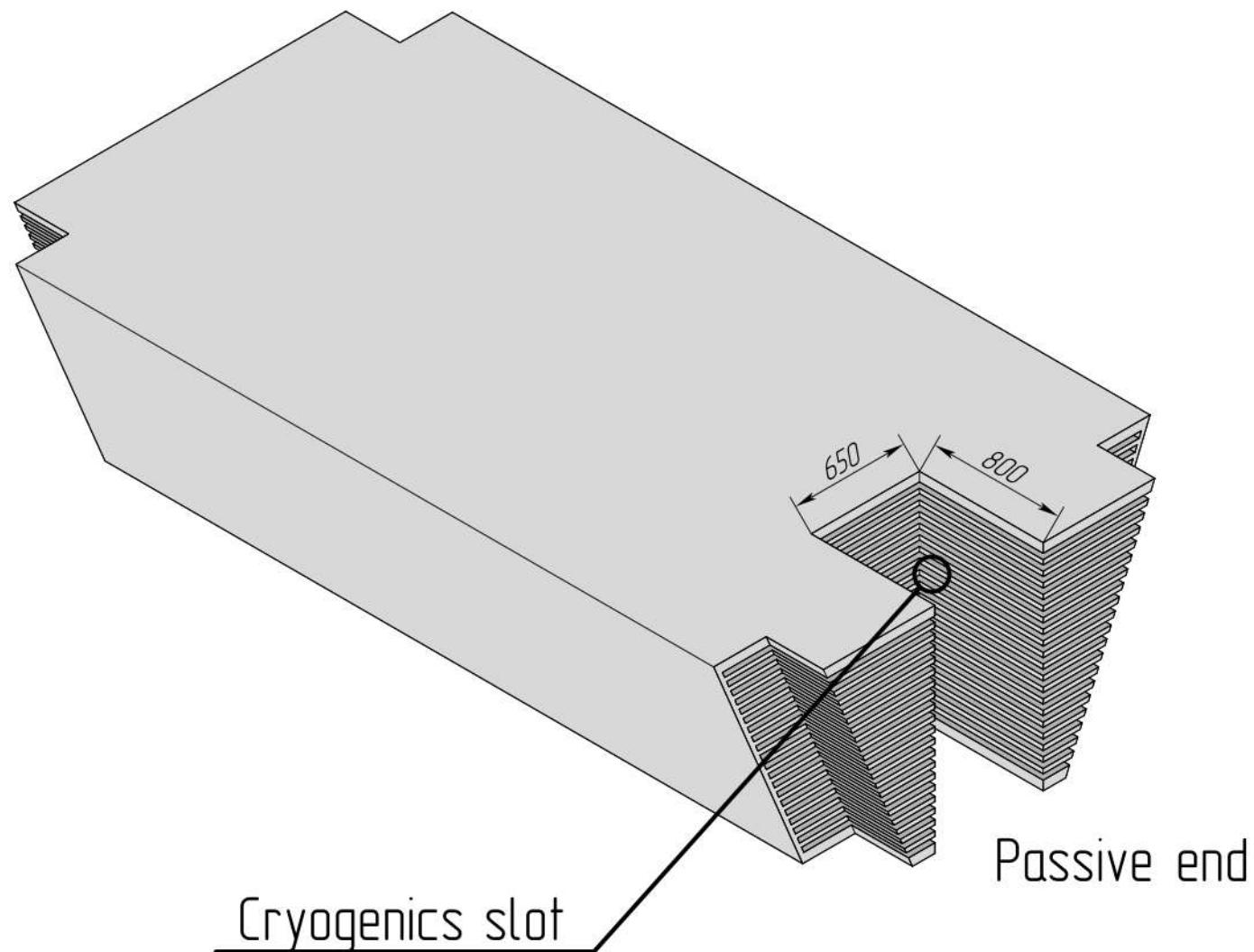
Дополнительные слайды



Дополнительные слайды

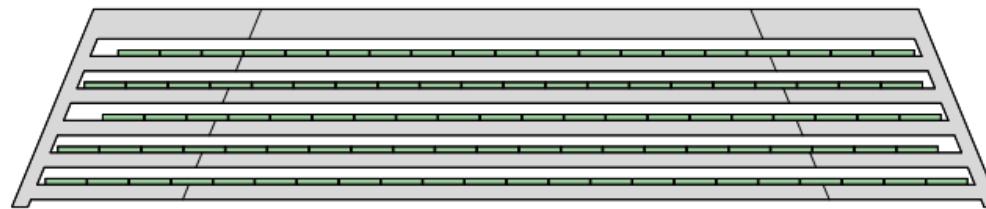


Дополнительные слайды

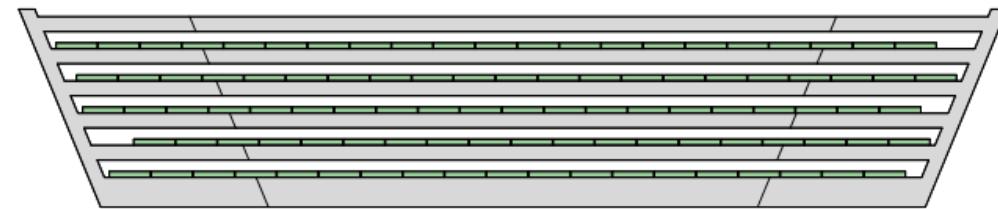


Дополнительные слайды

BOTTOM&SIDE modules

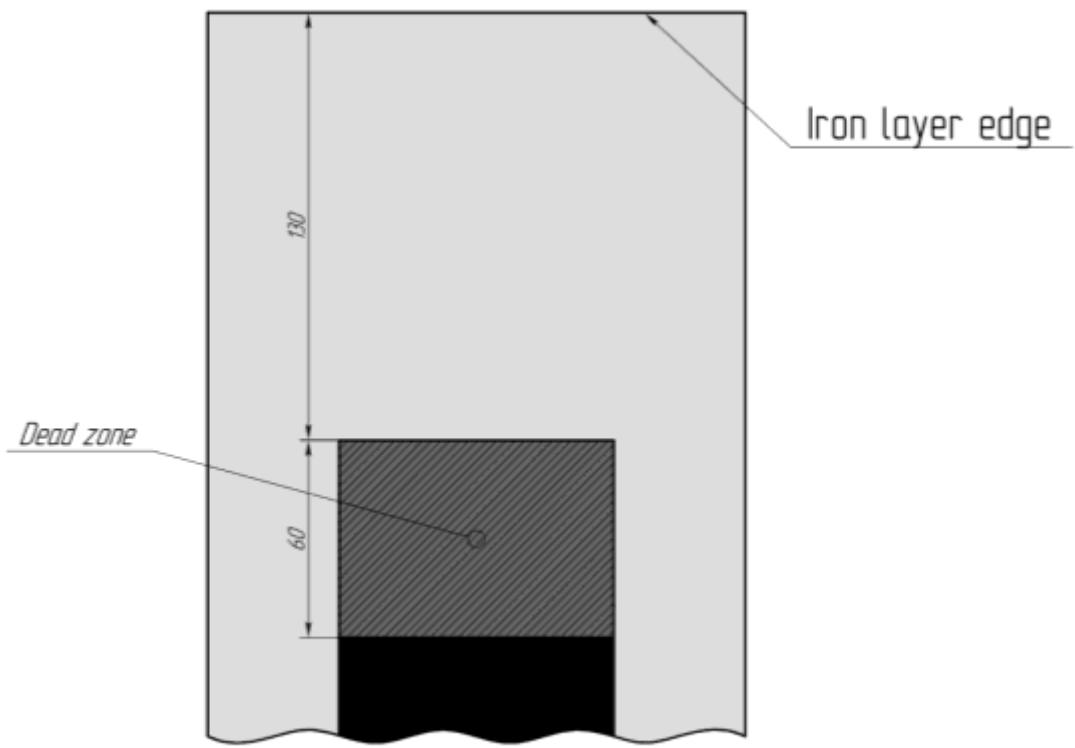


TOP & TOP-SIDE modules



Дополнительные слайды

Active end



Passive end

